

JURNAL TEKNIK SIPIL

Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil

Kajian Eksperimental Material dan Elemen Dinding Beton Beragregat Kasar Styrofoam dengan Lapisan Coating

Dedi Enda

Program Studi Pascasarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha No 10 Bandung 40132, Email : dedienda05@gmail.com

Saptahari Mudijana S. Poetra

Program Studi Pascasarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha No 10 Bandung 40132, Email : saptahari@si.itb.ac.id

Sigit Darmawan

Program Studi Pascasarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha No 10 Bandung 40132, Email : sdarmawan@itb.ac.id

Ivan Sandi Darma

Program Studi Pascasarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha No 10 Bandung 40132, Email : i_sandi_darma@yahoo.com

Abstrak

Material beton merupakan jenis material yang banyak digunakan dalam konstruksi bangunan. Untuk keperluan non-struktural, penggunaan beton normal menyebabkan beban mati akibat elemen beton non-struktural cukup besar, sehingga untuk mengurangi berat beton non-struktural tersebut digunakan beton ringan dengan agregat kasar dari bahan ALWA, salah satunya styrofoam. Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan oleh peneliti sebelumnya terhadap beton dengan agregat kasar styrofoam, diketahui bahwa mutu beton turun seiring dengan penambahan persentase agregat styrofoam didalam beton, hal ini diakibatkan styrofoam sebagai bahan penyusun beton terlalu lemah, sehingga di dalam penelitian ini agregat kasar styrofoam dilakukan perkuatan dengan coating dengan menggunakan pasta berupa semen, fly ash dan air (ALWA styrofoam). Eksperimen dilaksanakan dengan butiran styrofoam yang dilapisi coating dengan ukuran maksimum 2 cm direncanakan sebagai agregat kasar dengan rasio air semen 0.5, 0.6, 0.7 dan 0.8 dengan kekuatan target 15 MPa. Hasil uji menunjukkan berat isi beton ALWA styrofoam 25%-30% lebih rendah dari beton normal, dengan kuat tekan beton ALWA styrofoam meningkat seiring menurunnya faktor air semen. Untuk kegunaannya sebagai dinding nonstruktural/partisi, hasil analisis struktur menunjukkan bahwa pola keruntuhan portal dinding pengisi panel beton ALWA styrofoam diawali dengan kehancuran daerah sudut kemudian dilanjutkan dengan kehancuran pada kolom portal bagian bawah.

Kata-kata Kunci : Beton, ALWA styrofoam, dinding non-struktural

Abstract

The concrete material is a type of material that is widely used in building construction. For the purposes of the non-structural, the use of normal concrete causes dead load due to non-structural concrete elements are quite large, because of that to reduce the weight of the non-structural concrete lightweight concrete is used with coarse aggregate of ALWA material, one type of that is styrofoam. From the research that has been done by previous researchers with the concrete with coarse aggregate styrofoam, it is known that the quality of the concrete decrease with the addition of the percentage of the aggregate of Styrofoam in the concrete, this is due to styrofoam as the building blocks of concrete are too weak, so in this study coarse aggregate styrofoam do retrofitting of the coating by using a cement paste, fly ash and water (ALWA styrofoam). Experiment is carried out with Styrofoam granules coated with coating with maximum size of the coating is 2 centimeters is used as coarse aggregate with the ratio of cement water are 0.5, 0.6, 0.7 and 0.8 with a targeted strength of 15 Mpa. The results of the test show that the weight of the concrete ALWA styrofoam 25% -30% lower than normal concrete, the concrete compressive strength increases with decreasing ALWA styrofoam cement water factor. As non-structural wall use/ partition, the results of the analysis show of the structure as a non-structural walls, the collapse pattern of charger wall portal ALWA styrofoam concrete panel begins with the destruction of the corner area and then proceed with the destruction of the bottom of portal column.

Keywords: Concrete, styrofoam ALWA, non-structural wall

1. Pendahuluan

Material beton merupakan jenis material yang paling banyak digunakan dalam konstruksi bangunan, baik

sebagai material elemen struktural utama pemikul beban maupun elemen non-struktural. Dikarenakan berat isi beton normal yang menggunakan agregat alam biasa cukup tinggi sehingga menyebabkan beban mati

akibat elemen beton non-struktural (misalnya dinding pembatas ruangan bukan pemikul beban) cukup besar, maka untuk mengurangi beban yang harus dipikul elemen struktur utama, diperlukan suatu upaya untuk mengembangkan berbagai jenis beton non-struktural yang lebih ringan. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengurangi berat isi beton adalah dengan menggunakan agregat ringan buatan yang disebut ALWA (*Artificial Light Weight Aggregates*), seperti ALWA *styrofoam*. Jika beton untuk elemen non-struktural (dinding pembatas) yang digunakan terbuat dari campuran agregat dari bahan ALWA ini, maka berat isi beton akan menjadi lebih ringan, sehingga akan berdampak pada bobot yang dipikul struktur utama bangunan akan lebih ringan sehingga dimensi elemen struktur utama bangunan seperti balok dan kolom dapat dibuat lebih kecil dan efisien. Hal ini dapat mengurangi anggaran biaya bangunan.

Dari hasil penelitian-penelitian terhadap beton beragregat kasar *styrofoam* yang sudah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, diketahui bahwa mutu beton turun seiring dengan penambahan persentase agregat *styrofoam* didalam beton, hal ini diakibatkan *styrofoam* sebagai bahan penyusun beton terlalu lemah, sehingga di dalam penelitian ini agregat kasar *styrofoam* dilakukan perkuatan dengan pelapisan (*coating*) dengan menggunakan pasta berupa semen, *fly ash* dan air. Pada penelitian yang bersifat eksperimental dan analisis dengan kajian eksperimental material dan elemen dinding beton beragregat kasar *styrofoam* dengan lapisan *coating* ini akan diketahui besarnya penurunan bobot beton yang menggunakan agregat kasar ALWA *styrofoam*, perilaku mekanik beton beragregat kasar ALWA *styrofoam* diantaranya kuat tekan, kuat tarik belah, kuat tarik lentur, modulus elastisitas, porositas dan durabilitas terhadap tulangan melalui uji *Rapid Chloride Permeability Test* (RCPT), besarnya biaya yang diperlukan jika beton dengan agregat kasar ALWA *styrofoam* digunakan untuk pembuatan dinding non-struktural serta kapasitas beban yang mampu dipikul oleh portal dengan dinding pengisi panel beton ALWA *styrofoam* melalui analisis struktur secara numerik dengan perangkat lunak ANSYS.

2. Kajian Pustaka

2.1 Material pembentuk beton

Ditinjau dari ilmu bahan, beton termasuk material komposit, yang terdiri dari pasta semen dan agregat. Pasta semen berfungsi sebagai bahan perekat sebagai wujud campuran semen dengan air, setelah mengalami reaksi hidrasi akan berperan sebagai bahan perekat untuk mengikat fragmen-fragmen agregat kasar dan halus sehingga menjadi satu kesatuan yang padat dan kuat. Sedangkan agregat berperan sebagai bahan pengisi yang terdiri dari agregat kasar dan halus. Agregat merupakan bahan terbanyak dalam pembentukan beton, dari volume total beton sekitar 60% sampai 75% diisi oleh agregat. Oleh karena itu kualitas agregat sangat memegang peranan dalam hal kekuatan beton dan durabilitasnya (Amir, 2003).

Dalam penelitian ini material penyusun beton yang digunakan adalah:

1. Semen tipe I
2. Agregat halus pasir dari ex. gunung galunggung
3. Agregat kasar ALWA *styrofoam* yang dilapisi *coating*.
4. Air bersih di Laboratorium Struktur Teknik Sipil ITB

2.2 Agregat kasar ringan buatan dari *styrofoam* (Alwa *styrofoam*)

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 yang dikategorikan agregat ringan (*lightweight aggregate*) adalah agregat yang mempunyai berat volume (*density*) gumpalan (*bulk*) lepas sebesar 1120 kg/m^3 atau kurang. Dengan menggunakan material dari agregat ringan maka diharapkan terjadi penurunan berat isi dari beton yang signifikan. Jika beton mempunyai berat isi antara 1140 dan 1840 kg/m^3 , maka beton tersebut termasuk beton ringan (*lightweight concrete*).

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat kasar buatan *styrofoam* butiran yang dilapisi *coating*, dimana *styrofoam* dengan nama lain *polistirena foam* umumnya digunakan sebagai insulator pada bahan konstruksi bangunan. *Polistirena foam* merupakan bahan plastik yang memiliki sifat khusus dengan struktur yang tersusun dari butiran dengan kerapatan rendah, mempunyai bobot ringan, dan terdapat ruang antar butiran yang berisi udara yang tidak dapat menghantar panas sehingga hal ini membuatnya menjadi insulator panas yang sangat baik. *Polistirena foam* banyak dimanfaatkan dalam kehidupan, tetapi tidak dapat dengan mudah *direcycle* sehingga pengolahan limbahnya harus dilakukan secara benar agar tidak merugikan lingkungan. Pemanfaatan *polistirena* bekas untuk bahan agregat dalam pembuatan beton merupakan salah satu cara meminimalisir limbah tersebut.

(Cecilia dan Buen, 2013) melakukan penelitian tentang *styrofoam* sebagai agregat dalam beton non-struktural. Berat isi beton keras dengan substitusi *styrofoam* mengikuti kecenderungan logis untuk berkurang seiring dengan bertambahnya volume *styrofoam* di dalam beton, batas perubahan dari beton normal ke beton ringan terjadi pada 50% volume *styrofoam* yang disubstitusi. Semakin tinggi % volume *styrofoam* yang disubstitusi, maka kuat tekan maupun kuat lentur beton menjadi semakin rendah. Penurunan kuat tekan untuk pemakaian *styrofoam* dari 40% sampai 80% kecenderungan bersifat linier.

(Thomas Tamut *et al.*, 2014) melakukan penelitian penggantian sebagian dari agregat kasar dengan *styrofoam* butiran pada beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah *styrofoam* yang tergabung dalam beton mempengaruhi sifat beton keras. Pada umur 28 hari, kuat tekan dari 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30% EPS dimasukkan dalam campuran beton adalah 91%, 77%, 71%, 63%, 57%, dan 45 %, masing-masing jika dibandingkan dengan beton tanpa kasus EPS. Semakin tinggi jumlah *styrofoam* butiran dalam

campuran beton, semakin rendah kekuatan tarik. Campur dengan 15% EPS memiliki kekuatan tarik relatif 80% dan 30% EPS memiliki kekuatan tarik relatif 70% jika dibandingkan dengan beton tanpa kasus EPS.

Dari hasil penelitian-penelitian terhadap beton beragregat kasar *styrofoam* yang sudah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, diketahui bahwa mutu beton turun seiring dengan penambahan persentase agregat *styrofoam* didalam beton, terlihat bahwa memasukkan *styrofoam* sebagai bahan penyusun beton menyebabkan mutu beton semakin lemah, sehingga di dalam penelitian ini agregat kasar *styrofoam* dilakukan perkuatan dengan pelapisan (*coating*).

Coating merupakan pelapisan yang diterapkan pada permukaan suatu benda atau substrat. Tujuan *coating* adalah untuk dapat meningkatkan sifat permukaan dari benda yang dilapisi, seperti penampilan, tahan air, tahan korosi, tahan aus, dan tahan gores. Pelapisan bisa diterapkan pada substrat yang berbeda, seperti: besi, baja, kayu, aluminium, batu, dan bahan sintetis. *Coating* bisa diaplikasikan dalam bentuk cair, gas atau padat. Dengan tujuan tersebut, diharapkan agregat dari *styrofoam* yang telah dilapisi *coating*, kualitasnya dapat meningkat, sehingga dapat meningkatkan mutu beton yang dihasilkan.

Styrofoam butiran yang digunakan dalam penelitian ini berukuran diameter 5 mm sampai 15 mm. Pada permukaan *styrofoam* butiran tersebut dilapisi *coating* (ALWA *styrofoam*) dengan menggunakan pasta berupa semen, *fly ash* dan air.

Penggunaan pasta semen dan air pada bahan lapisan *coating* butiran *styrofoam* dikarenakan semen memiliki senyawa C_3S (*tri calcium silicate*) dan C_2S (*dicalcium silicate*) yang jika bereaksi dengan air akan membentuk massa padat dengan tingkat kekerasan tertentu pada lapisan *coating*, disamping itu semen juga mempunyai sifat adhesi dan kohesi yang dapat mengikat butir-butir material menjadi satu kesatuan. Akan tetapi, dari hasil reaksi hidrasi antara semen dan air akan menghasilkan panas hidrasi yang berlebihan pada permukaan lapisan *coating* yang akan menyebabkan permukaan butiran agregat kasar yang dilapisi *coating* akan timbul retak-retak halus, untuk mengatasi hal tersebut digunakan *fly ash*. *Fly ash* type F selain untuk mereduksi penggunaan air dan semen, juga berfungsi untuk menurunkan panas hidrasi dari reaksi semen dan air, sehingga retak retak halus pada lapisan *coating* dapat dihindari.

2.3 Dinding non-struktural

Dalam mendesain suatu bangunan, dinding pengisi pada portal biasanya diabaikan karena dianggap sebagai elemen non-struktural. Tetapi pada kenyataan, dinding ikut mengalami deformasi ketika portal berdeformasi dalam menahan beban lateral berupa beban gempa. Sehingga keberadaan dinding pengisi pada portal, memiliki pengaruh terhadap kekuatan portal dalam menahan beban gempa. Perilaku suatu portal dengan dinding pengisi ketika menerima beban

gempa adalah sangat rumit. Perilakunya nonlinier dan tergantung dari material penghubung antara portal dengan dinding pengisi tersebut, sehingga sulit untuk menggunakan metode analitis untuk memprediksi perilakunya, kecuali terdapat data-data eksperimen kemudian data-data tersebut digunakan dalam analisis lalu hasilnya disesuaikan dengan hasil eksperimen.

(Paulay dan Prieslay, 1992) menggolongkan pola keruntuhan portal dengan dinding pengisi ke dalam 5 kategori yaitu:

1. Kehancuran daerah sudut, *Corner Crushing* (CC).
2. Keruntuhan Geser, *Sliding Shear* (SS).
3. Keruntuhan Tekan Diagonal, *Diagonal Compression* (DC).
4. Keruntuhan Retak Diagonal, *Diagonal Cracking* (DCR).
5. Keruntuhan Portal, *Frame Failure* (FF).

Dalam penelitian ini pemodelan portal dengan dinding pengisi atau tanpa dinding pengisi beton ALWA *styrofoam* diasumsikan digunakan untuk dinding non-struktural pada struktur rumah sederhana. Analisis struktur dilakukan secara numerik dengan perangkat lunak ANSYS dengan membuat simulasi suatu portal beton bertulang yang diisi dengan dinding panel beton ALWA *styrofoam* ketika menerima beban lateral monotonik pada bidang, kemudian dilihat perilaku retaknya sampai beban puncak. Dimana pemodelan pada ANSYS dilakukan secara tiga dimensi dengan tidak memodelkan bagian pondasinya dan angkur pada tulangan serta tidak memodelkan selimut beton pada pemodelan portal. Sebelum membuat pemodelan portal dengan dinding pengisi, akan dibuat terlebih dahulu portal tanpa dinding pengisi. Sehingga akan didapat perbandingan kapasitas beban yang mampu ditahan oleh portal tanpa dinding pengisi dengan portal menggunakan dinding pengisi.

Tipe elemen yang digunakan pada pemodelan beton untuk portal dan dinding pengisi panel beton ALWA *styrofoam* menggunakan elemen hexagonal delapan nodal yaitu elemen SOLID65. Elemen solid 65 ini memiliki 8 titik dengan 3 derajat kebebasan pada tiap-tiap titiknya, translasi arah x, y dan z. Sedangkan pemodelan untuk baja tulangan menggunakan model *discrete*, uniaksial tiga dimensi yaitu elemen LINK8 dengan asumsi bahwa elemen baja tulangan dan elemen beton melekat sempurna dimana elemen ini memiliki 2 titik dengan 3 derajat kebebasan pada tiap-tiap titiknya, translasi arah x, y dan z.

Untuk pemodelan pelat baja menggunakan model solid tiga dimensi yaitu elemen SOLID 45, dimana elemen ini merupakan elemen hexagonal delapan nodal, sama seperti SOLID 65 elemen ini memiliki 8 titik dengan 3 derajat kebebasan pada tiap-tiap titiknya, translasi arah x, y dan z. Akan tetapi elemen ini tidak ada retak dan tidak ada pemodelan tulangan seperti pada elemen SOLID 65.

Kurva tegangan-regangan beton yang digunakan dalam ANSYS adalah model idealisasi oleh Kachlakev dimana (Kachlakev *et al.*, 2001) menggunakan model *linier piecewise*, kurva multilinier isotropis terdiri dari garis-garis lurus yang menghubungkan 6 titik (titik 0 sampai dengan titik 5), dengan kriteria kegagalan *von mises*, bersamaan dengan model (Willam dan Warnke, 1974) untuk menentukan kegagalan pada beton. Persamaan untuk menentukan modulus elastisitas dan tegangan-regangan tekan beton untuk pemodelan beton dihitung menggunakan persamaan dibawah ini sebagai berikut:

$$E_c = 57000\sqrt{f_c'} \quad f_c' \text{ dalam satuan psi.} \quad (1)$$

$$f = \frac{E_c \cdot \varepsilon}{1 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)^2} \quad (2)$$

$$\varepsilon_0 = \frac{2 \cdot f_c'}{E_c} \longrightarrow E_c = \frac{f}{\varepsilon} \quad (3)$$

Dimana f merupakan tegangan pada saat regangan tertentu, satuan dalam psi. e adalah regangan pada saat tegangan f dan ε_0 = regangan pada saat kuat tekan puncak beton (f_c'). Khusus untuk titik pertama pada kurva tegangan-regangan multilinier isotropis, ditentukan oleh pengguna ANSYS. Nilai tersebut harus sesuai dengan hukum Hooke :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (4)$$

Untuk nilai *modulus of rupture* (f_r) pada elemen beton diperoleh melalui rumus dibawah ini :

$$f_r = 7,5\sqrt{f_c'}, \text{ dimana } f_r \text{ dan } f_c' \text{ dalam satuan psi.} \quad (5)$$

Model bilinear elastoplastis digunakan pada tegangan-regangan baja tulangan, identik baik tekan maupun tarik dan juga menggunakan kriteria leleh von mises. Nilai yang dibutuhkan adalah tegangan leleh baja tulangan (*yield stress*) dan nilai tangent modulus nya diasumsikan nol. Sedangkan untuk hubungan tegangan-regangan tekan untuk pemodelan dinding pengisi beton ALWA *styrofoam* (Kurniawan dan Pebrianti, 2008) menyarankan menggunakan model konstitutif beton ringan yang diusulkan oleh (Almusallam dan Alsayed, 1995), untuk mendapatkan nilai pada lima titik pada kurva multilinier isotropis. Hubungan tegangan-regangan beton dinyatakan dalam bentuk :

$$f_c = \frac{(K - K_p) \varepsilon_c}{\left[1 + \left(\frac{(K - K_p) \varepsilon_c}{f_0}\right)^n\right]^{1/n}} + K_p \varepsilon_c \quad (6)$$

dimana :

$$n = - \frac{\ln 2}{\ln \left(\frac{f_1}{f_0} - \frac{K_p}{K - K_p} \right)} \quad (7)$$

$$f_1 = f_c' \left[2 \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_0} \right)^2 \right] \quad (8)$$

$$\varepsilon_1 = (0,65 f_0) / (K - K_p) \quad (9)$$

$$f_0 = 19,1 + 1,3 f_c' - K_p \varepsilon_0 \quad (10)$$

$$K = E_c \rightarrow \text{eksperimental} \quad (11)$$

$$\varepsilon_0 = (0,398 f_c' + 18,147) \times 10^{-4} \quad (12)$$

$$K_p = 1374,5 - 871,1 f_c' \quad (13)$$

3. Program Eksperimental

3.1 Tahapan persiapan

1. Pembuatan lapisan *coating* agregat kasar dari ALWA *styrofoam*. Material pembentuk lapisan *coating* pada agregat ringan buatan yang meliputi atas semen Portland tipe I, fly ash type F (Abu terbang sisa pembakaran batu bara) dan Air. Bahan *coating* yaitu (85% semen + 15% fly ash) + air dengan w/b yaitu 0,5. *Styrofoam* butiran yang digunakan berdiameter 3 mm sampai 15 mm.



Gambar 1. Butiran agregat kasar *styrofoam* sebelum *coating* (kiri) sesudah dilapisi *coating* (kanan).

2. Butiran *styrofoam* tersebut akan dilapisi bahan *coating* dengan tebal lapisan *coating* bervariasi antara 2 mm sampai 3 mm, sehingga hasil akhir butiran ALWA *styrofoam* adalah diameter 3 mm

akan menjadi agregat berukuran 5 mm sedangkan diameter 15 mm menjadi 20 mm lihat **Gambar 1**. Untuk agregat di bawah 5 mm pada beton akan diwakili oleh agregat halus dari pasir alam.

3. Pengadaan material pembetuk beton yang terdiri dari pasir, Alwa *styrofoam*, kerikil, semen Portland tipe I dan Air. Selain itu juga dipersiapkan larutan bahan kimia NaOH dan NaCl.
4. Pemeriksaan sifat fisik agregat yang mengacu pada standar ASTM (1993) yang meliputi berat jenis dan penyerapan air, berat isi, kadar air, gradasi butiran agregat, ukuran maksimum agregat kasar.

3.2 Tahap pembuatan, perawatan dan pengujian benda uji

Tahap ini diawali dengan pengujian kekuatan tekan untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton yang memenuhi kuat tekan target. Jumlah untuk masing-masing benda uji silinder untuk masing-masing umur dan rasio air semen ada 3 buah silinder. Tahapannya meliputi kegiatan perencanaan campuran beton, pencampuran bahan-bahan dasar beton, pencetakan benda uji silinder berukuran diameter 150 mm tinggi 300 mm serta perawatan benda uji untuk uji kekuatan tekan. Benda uji untuk uji kekuatan tekan pada penelitian ini terdiri dari benda uji campuran beton yang terdiri dari:

1. Beton Tipe 1 dengan perencanaan campuran beton menggunakan ACI 211.1-91 dengan material penyusun semen, air, pasir dan ALWA *styrofoam* yang dengan w/c 0.5, 0.6, 0.7, dan 0.8, masing-masing diberi kode S05, S06, S07, dan S08.
2. Beton Tipe 2 dengan perencanaan campuran beton menggunakan ACI 211.1-91 dengan material penyusun semen, air, pasir dan kerikil yang dengan w/c 0.5, 0.6, 0.7, dan 0.8, diberi kode A, B, C, D. Dengan menggunakan metode ACI 211.1-91 dibuat juga sampel beton dengan perbandingan volume, dimana agregat kasar yang digunakan ALWA *styrofoam*, dengan w/c 0.5, 0.6, 0.7, dan 0.8, diberi kode SA, SB, SC, SD.

Jika benda uji kekuatan tekan sudah berumur 3, 7, 14 dan 28 hari, maka dilakukan uji kekuatan tekan beton sesuai prosedur ASTM C39. Setelah kuat tekan target dicapai maka dilakukan pencampuran, pencetakan dan perawatan benda uji yang menggunakan komposisi yang sesuai dengan kuat tekan target untuk mendapatkan sifat mekanik dan durabilitas beton Alwa yang meliputi kuat tarik belah (ASTM C496), kuat tarik lentur (ASTM C78), modulus elastisitas (ASTM 496), porositas (ASTM C 642) dan uji RCPT (ASTM C 1202).

Dengan masing masing jumlah benda uji 3 buah untuk umur 28 hari, dimana benda uji silinder berukuran diameter 150 mm tinggi 300 mm yang digunakan untuk mendapatkan nilai tarik belah dan modulus elastisitas, benda uji balok berukuran 150mm x 150mm x 600mm digunakan untuk mendapatkan nilai kuat tarik lentur, pengujian porositas menggunakan silinder

berukuran diameter 100 mm tinggi 200 mm, sedangkan untuk pengujian RCPT menggunakan benda uji silinder berukuran diameter 100 mm tinggi 50 mm.

Selama proses pencampuran dan pengadukan dalam alat pengaduk diamati tingkat workabilitas beton segar dinyatakan dengan nilai slump yang juga digunakan sebagai alat kontrol kebutuhan air pada saat pengadukan (**Gambar 2**). Setelah diperoleh nilai slump yang diharapkan maka selanjutnya adalah memasukkan beton segar ke dalam cetakan sebanyak tiga lapis sampai dengan penuh dimana setiap lapisan dipadatkan dengan cara dipukul-pukul bagian luar cetakan menggunakan palu karet. Perawatan benda uji dimulai sejak beberapa saat setelah beton segar dicetak. Dimana upaya perawatan yang dilakukan adalah dengan cara menutup permukaan beton segar yang berhubungan langsung dengan lingkungan dengan plastik agar mencegah penguapan yang berlebihan. Setelah 24 jam cetakan dibuka, upaya perawatan benda uji selanjutnya merendam benda uji.



Gambar 2. Pencampuran material penyusun beton dan uji Slump.

4. Hasil Pengujian dan Pembahasan

4.1 Sifat fisik agregat dan perancangan komposisi campuran

Hasil pemeriksaan sifat fisik agregat dan perancangan komposisi campuran yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 1, 2, 3** dan **Gambar 3**.

Tabel 1. Sifat fisik agregat kasar

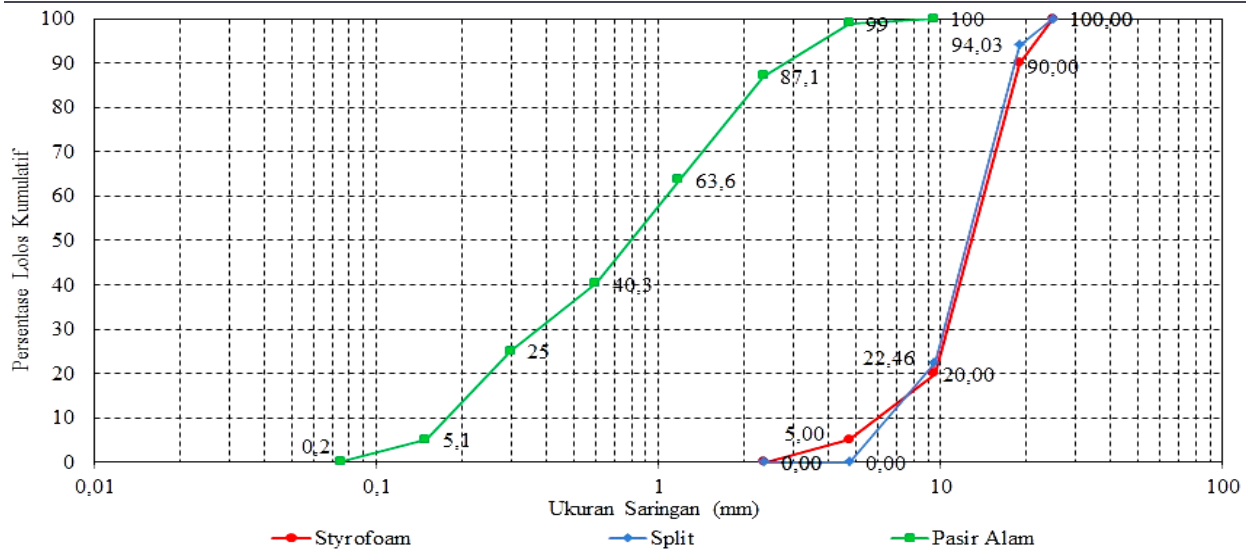
Karakteristik	Alwa <i>styrofoam</i>	Kerikil
Dry bulk SG	0,918	2,111
SSD bulk SG	1,064	2,334
Apparent SG	1,075	2,714
Penyerapan air	15,933 %	10,520 %
Berat isi	517 kg/m ³	1334 kg/m ³
Kadar air	1,728 %	8,310 %

Tabel 2. Sifat fisik agregat halus

Karakteristik	Pasir Alam
Dry bulk SG	2,429
SSD bulk SG	2,551
Apparent SG	2,768
Penyerapan air	5,042 %
Berat isi	1573 kg/m ³
Kadar air	6,762 %

Tabel 3. Komposisi campuran beton tipe 1 per m³

Kode Campuran	w/c	Semen (kg)	Air (kg)	Pasir (kg)	Agregat Kasar (kg)	Metode
S0,8	0,8	252,37	201,90	760,99	419,834	ACI 211.1-91 dengan Agregat Kasar Alwa Styrofoam
S0,7	0,7	288,43	201,90	731,79	419,834	
S0,6	0,6	336,50	201,90	692,86	419,834	
S0,5	0,5	403,80	201,90	638,36	419,834	
A	0,8	250,00	200,00	822,73	894,07	ACI 211.1-91 dengan Agregat Kasar Kerikil
B	0,7	285,71	200,00	793,81	894,07	
C	0,6	333,33	200,00	755,24	894,07	
D	0,5	400,00	200,00	701,25	894,07	



Gambar 3. Kurva gradasi agregat

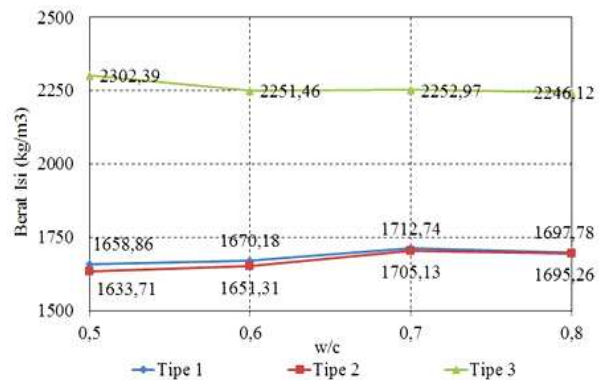
Untuk kode campuran SA, SB, SC dan SD menggunakan metode ACI 211.1-91 dengan Agregat Kasar ALWA *styrofoam* berdasarkan perbandingan volume absolut, dimana volume absolut dari Alwa *styrofoam* pada campuran SA, SB, SC dan SD sama dengan volume absolut kerikil pada campuran A, B, C dan D.

4.2 Berat Isi Beton

Data hasil pengukuran berat isi untuk berbagai faktor air semen dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 4.

Tabel 4. Berat isi beton

Kode Campuran	w/c	Berat Isi Beton (kg/m ³)
S0,5	0,5	1658.86
S0,6	0,6	1670.18
S0,7	0,7	1712.74
S0,8	0,8	1697.78
D	0,5	2302.39
C	0,6	2251.46
B	0,7	2252.97
A	0,8	2246.12
SD	0,5	1633.71
SC	0,6	1651.31
SB	0,7	1705.13
SA	0,8	1695.26



Gambar 4. Berat isi beton terhadap w/c

Berdasarkan Tabel 4 dan Gambar 4, diketahui bahwa berat isi beton dengan agregat kasar *styrofoam* berada pada range 1633 – 1713 kg/m³ sedangkan berat isi untuk campuran beton normal dengan agregat kasar split berada pada range 2246 – 2303 kg/m³. Jika beton menggunakan agregat ALWA *styrofoam*, pada perbandingan w/c yang sama akan terjadi penurunan berat isi beton 25% - 30% dari beton normal dengan agregat kerikil.

4.3 Sifat mekanik dan durabilitas beton

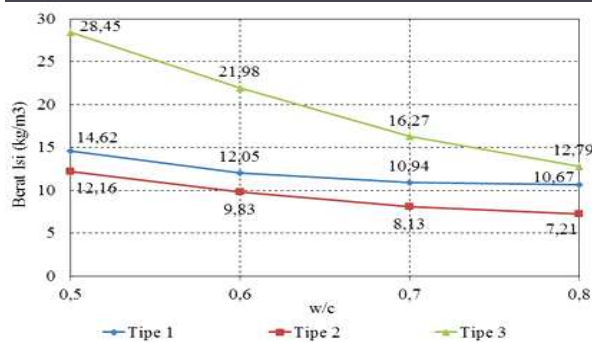
Data hasil perkembangan kuat tekan terhadap waktu ditunjukkan pada Tabel 5 dan Gambar 6 dibawah ini.



Gambar 5. Capping benda uji dan uji tekan.

Tabel 5. Kuat tekan umur 28 hari

Tipe Beton	w/c	Kuat Tekan (Mpa)
S0,5	0.5	14.62
S0,6	0.6	12.05
S0,7	0.7	10.94
S0,8	0.8	10.67
D	0.5	28.45
C	0.6	21.98
B	0.7	16.27
A	0.8	12.79
SD	0.5	12.16
SC	0.6	9.83
SB	0.7	8.13
SA	0.8	7.21



Gambar 6. Kuat tekan beton umur 28 hari terhadap w/c.

Berdasarkan Tabel 5 dan Gambar 6, diketahui bahwa kuat tekan beton dengan agregat ALWA *styrofoam* mengalami kenaikan seiring dengan menurunnya perbandingan w/c, namun kenaikannya tidak signifikan jika dibandingkan dengan kuat tekan beton normal, hal ini terlihat dari kemiringan atau gradient dari kurva perkembangan kuat tekan beton normal lebih besar dibandingkan kemiringan atau gradient dari kurva perkembangan kuat tekan beton yang mengandung ALWA *styrofoam*. Semakin kecil tingkat perbandingan w/c maka perbedaan antara kuat tekan beton normal dengan kuat tekan beton dengan agregat ALWA *styrofoam* semakin besar. Perbedaan penurunan kuat tekan beton agregat ALWA *styrofoam* pada rancangan campuran tipe 1 terhadap kuat tekan beton normal pada w/c 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 berturut turut adalah 48.6%, 45.16%, 32.73% dan 16.62% sedangkan perbedaan penurunan kuat tekan beton agregat ALWA *styrofoam* pada rancangan campuran tipe 2 terhadap kuat tekan beton normal pada w/c 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 berturut turut adalah 57.24%, 55.26%, 50.00% dan 43.64%.

Dari Tabel 5 dan Gambar 6 menunjukkan bahwa beton dengan tipe campuran 1 memiliki kuat tekan 14,62 MPa pada w/c 0.5, ini sudah masuk dalam kategori 85% f_c' (12,75 MPa), dan ini dapat dikatakan bahwa kuat tekan yang disyaratkan telah dipenuhi untuk desain selanjutnya, maka dilakukan pengujian untuk mendapatkan nilai kuat tarik belah, kuat tarik lentur, modulus elastisitas, porositas, tingkat penetrasi klorida melalui uji RCPT (*Rapid Chloride Permeability Test*), biaya produksi tiap meter kubik beton agregat kasar *styrofoam* yang dilapisi *coating* serta analisis struktur pada penggunaan beton tersebut sebagai dinding non-struktural pada rumah sederhana berdasarkan komposisi campuran tipe 1 memiliki kuat tekan 14,62 MPa pada w/c 0.5.

Adapun hasil pengujian sifat mekanik dan durabilitas beton berdasarkan komposisi campuran tipe 1 memiliki kuat tekan 14,62 MPa pada w/c 0.5 dapat dilihat pada Tabel 6.



Gambar 7. Uji tarik belah dan modulus elastisitas



Gambar 8. Uji tarik lentur



Gambar 9. Uji RCPT

Tabel 6. Hasil pengujian sifat mekanik dan durabilitas beton

Jenis Pengujian	Nilai Rata-Rata
Kuat tarik belah	1,474 MPa
Kuat tarik lentur	4,399 MPa
Modulus elastisitas	12.143,67 MPa
Porositas	18,92%.
RCPT	Penetrasi ion klorida termasuk kategori tinggi

Jika hasil pengujian kuat tarik belah, kuat tarik lentur, modulus elastisitas dihubungkan dengan kuat tekan beton ALWA *styrofoam* yang diperoleh, maka didapat hubungan $\alpha\sqrt{f_c'}$ seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7.

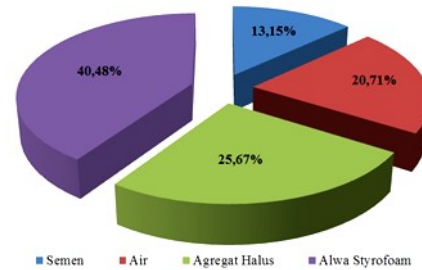
Tabel 7. Hubungan kuat tarik belah, kuat tarik lentur, modulus elastisitas terhadap kuat tekan beton

Jenis Pengujian	$\alpha\sqrt{f_c'}$
Kuat tarik belah	$0,385\sqrt{f_c'}$
Kuat tarik lentur	$1,15\sqrt{f_c'}$
Modulus elastisitas	$3176\sqrt{f_c'}$

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka beton yang menggunakan agregat kasar *styrofoam* yang di lapisi *coating*, tidak dapat digunakan sebagai beton komponen struktural, karena mutu beton yang dihasilkan pada penelitian ini 14,62 MPa, sedangkan mutu beton untuk komponen struktural minimum 17 MPa. Namun, beton ringan yang menggunakan agregat kasar *styrofoam* yang di lapisi *coating* sangat cocok digunakan sebagai komponen non-struktural, hal ini dikarenakan berat isi yang dihasilkan berada pada range $1633 - 1713 \text{ kg/m}^3 < 1840 \text{ kg/m}^3$ (batas maksimum beton ringan) sehingga memberikan keuntungan tersendiri dalam hal penurunan bobot bangunan yang diakibatkan oleh komponen non-struktural, dan juga memberikan azas manfaat dari penggunaan *styrofoam* bagi dunia konstruksi, dimana selama ini *styrofoam* banyak digunakan di industri.

4.4 Dinding panel beton ALWA *Styrofoam*

Disamping memiliki bobot yang ringan, dinding panel beton ALWA *styrofoam* harus memiliki kekuatan



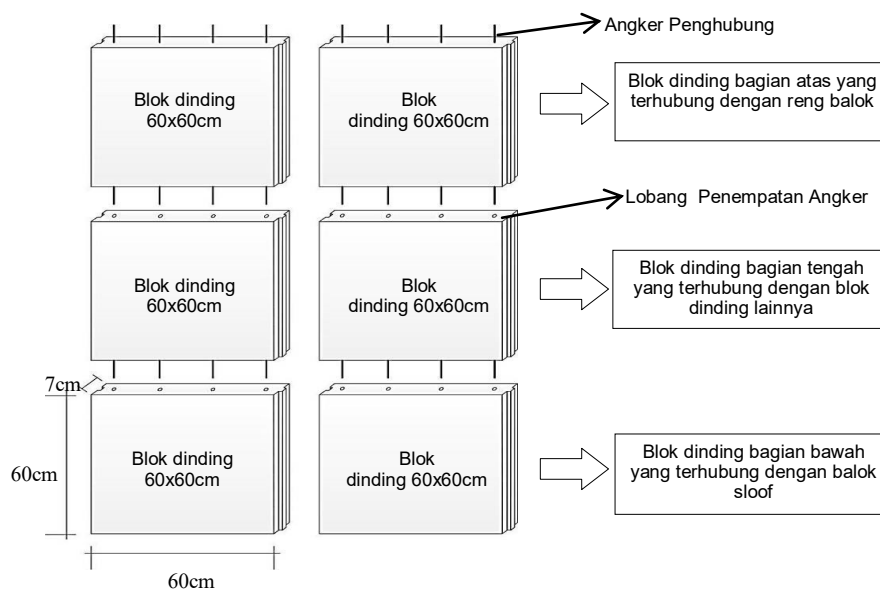
Gambar 10. Persentase volume bahan-bahan penyusun beton ALWA *styrofoam* tiap m^3 dengan w/c 0,5

Tabel 8. Spesifikasi dari dinding panel beton ALWA *styrofoam*

Ukuran Blok Panel	60 x 60 cm^2
Ketebalan	7 cm
Berat per blok panel	41,8 kg
Kuat tekan	14,62 MPa
Kuat tarik belah	1,474 MPa
Kuat tarik lentur	4,399 MPa
Modulus elastisitas	12.143,67 MPa
Porositas	18,92%

minimum. Berdasarkan SNI 03-0349-1989 (Bata Beton untuk Pasangan Dinding), kekuatan bata beton klas 1 untuk dinding non-struktural adalah 10 Mpa, oleh sebab itu didalam penelitian diperlukan pengujian kekuatan untuk memenuhi standart minimal dari spesifikasi dinding pengisi. Berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh, mutu dari panel dinding memenuhi spesifikasi $> 10 \text{ Mpa}$ yaitu 14,62 Mpa, dengan persentase komposisi yang dari masing-masing material penyusun beton ALWA *styrofoam* dapat dilihat pada Gambar 10.

Dengan memperhatikan kemudahan dalam pengangkutan (transportasi) dan pabrikasi, maka



Gambar 11. Blok panel dinding beton ALWA *styrofoam*

dinding dibuat dalam bentuk blok-blok panel yang berukuran 60cm x 60cm dengan ketebalan mengikuti ketebalan minimum panel beton dinding JOE *green concrete panel* yaitu 70 mm (7 cm). Spesifikasi dari dinding panel beton ALWA *styrofoam* dapat dilihat pada **Tabel 8** dan **Gambar 11**.

Adapun metode pemasangan panel dinding beton ALWA *styrofoam* adalah sebagai berikut:

1. Penentuan posisi penempatan dinding, dimana permukaan yang akan dipasang panel harus rata dan bersih.
2. Pengangkatan blok panel dinding ALWA *styrofoam* ukuran 60 x 60 cm tebal 7 cm ke tempat yang akan dipasang dinding panel.
3. Penuangan lem beton atau semen perekat pada permukaan bawah dinding dan bagian sisi samping dinding yang berhubungan dengan sisi kolom yang akan dipasang panel.
4. Penempatan panel dan *setting up* panel agar panel tepat pada posisi tegak lurus, pemasangan panel dimulai dari sudut atau kolom.
5. Untuk pemasangan dinding panel berikutnya, jika panel yang akan dipasang berada di atas panel yang ada maka penuangan lem beton atau semen perekat pada permukaan atas panel dinding yang dibawahnya dan pada sisi kolom atau dinding disampingnya serta bagian bagian lobang yang disediakan untuk memasukan angker penghubung antar dinding atas

dan bawah.

6. Pasang *support* dan klem sementara untuk panel yang baru terpasang di bagian atasnya.

7. *Finishing* antar panel yang saling berhubungan yaitu dengan cara menutupi dengan menggunakan mortar.

4.5 Rencana anggaran biaya produksi dinding panel beton ALWA *styrofoam*

Rencana anggaran biaya yang akan dihitung dalam pembahasan ini adalah biaya yang akan dikeluarkan per meter kubik dan per meter persegi jika beton ALWA *styrofoam* digunakan untuk dinding nonstruktural/partisi. Dengan mengacu pada SNI 6897, 2008 dan SNI 7394, 2008, maka biaya produksi yang dihitung mencakup biaya material dan biaya upah. Data biaya dan upah diambil dari harga pasaran di wilayah bandung. Adapun biaya produksi untuk 1 m² dinding ALWA *styrofoam* dapat dilihat pada **Tabel 9, 10, 11** dan **12**.

Total biaya produksi dinding ALWA *Styrofoam*/m² dengan ketebalan 7 cm dengan mutu 14,62 MPa adalah Rp 89,586.00 + Rp 75.532,62 + Rp. 4,225.00 = Rp. 169.343,62. Berikut persertase biaya produksi dinding alwa *styrofoam*/m².

Dari **Gambar 12**, terlihat bahwa persentase pengeluaran terbesar terletak pada pekerjaan pemasangan bekisting untuk 1 m² panel beton ALWA *styrofoam* sebesar 52,90%, sehingga jika dilakukan produksi massal, biaya pekerjaan pemasangan bekisting dapat direduksi sekecil mungkin karena bekisting tersebut dapat digunakan berulang-ulang.

Tabel 9. Pembuatan 1 m³ agregat kasar ALWA *styrofoam*

Item	Satuan	Indeks	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
PC	kg	274,656	1.300,00	357.053,13
Fly ash Tipe F	kg	48,469	500,00	24.234,38
Styrofoam Butiran	kg	2,465	60.000,00	147.870,53
Air	liter	193,875	4,00	775,50
Jumlah harga 1 m ³ (517 kg)				529.933,53
Harga per kg ALWA <i>Styrofoam</i>				1.025,02

Tabel 10. Memasang 1 m² bekisting untuk beton ALWA *styrofoam*

Item	Satuan	Indeks	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Kayu Kelas III	m ³	0.026	1,600,000.00	40,800.00
Paku	kg	0.400	5,000.00	2,000.00
Minyak Bekisting	liter	0.200	10,000.00	2,000.00
Plywood tebal 9 mm	lbr	0.457	98,000.00	44,786.00
Jumlah				89,586.00

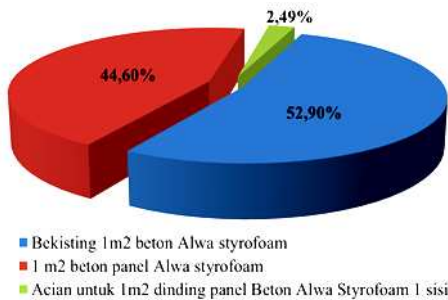
Tabel 11. Memasang 1 m² ALWA *styrofoam*

Kebutuhan	Satuan	Indeks	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
PC	kg	403.800	1,300.00	524,940.00
PB	kg	638.557	178.00	113,665.58
Alwa Styrofoam	kg	419.834	1.025,02	430.336,78
Air	liter	201.900	50.00	10,095.00
Jumlah				1.079.037,36
1 m ² dinding Alwa <i>styrofoam</i> tebal 7 cm				75.532,62

Tabel 12. Memasang 1 m² acian untuk dinding beton ALWA *styrofoam* 1 sisi

Kebutuhan	Satuan	Indeks	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
PC	kg	3.250	1,300.00	4,225.00
Jumlah				4,225.00

Perbandingan antara persentase biaya yang dikeluarkan untuk penggunaan agregat ALWA *styrofoam* terhadap biaya total untuk produksi per meter persegi dinding panel beton ALWA *styrofoam*, ditunjukkan pada **Gambar 13**, terlihat bahwa persentase biaya yang dikeluarkan untuk agregat ALWA *styrofoam* sebesar 23,29% atau Rp. 30.123,57 dari biaya total Rp. 169.343,62.



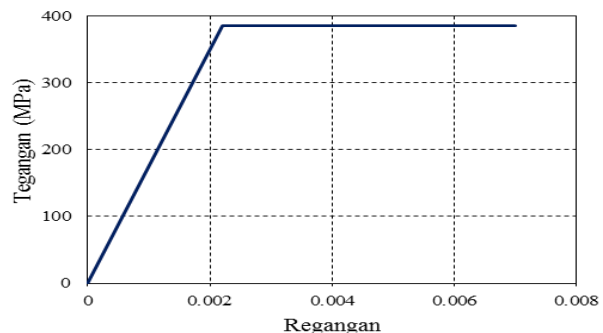
Gambar 12. Persentase biaya produksi dinding panel



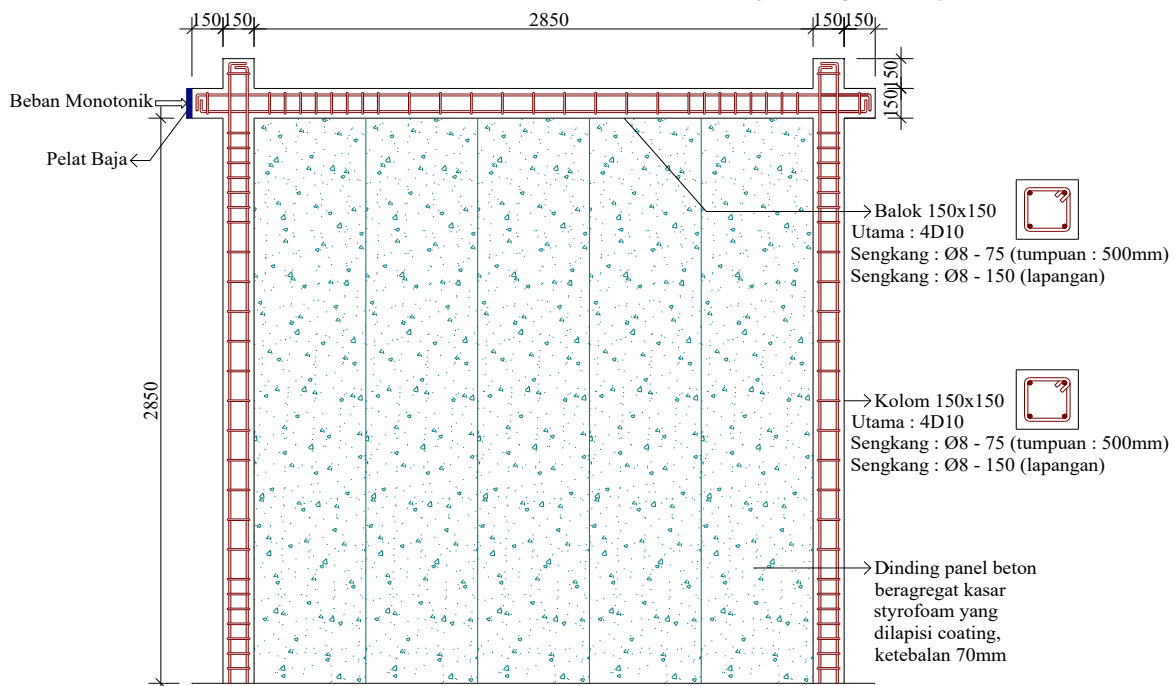
Gambar 13. Persentase biaya agregat ALWA styrofoam terhadap biaya total produksi dinding panel

4.6 Analisis struktur dinding beton ALWA *styrofoam*

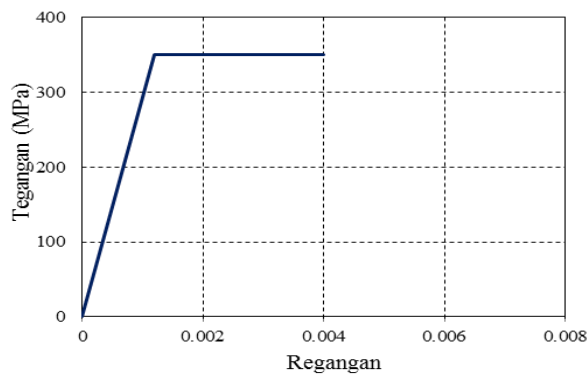
Gambar 14, merupakan model portal beton bertulang satu lantai, yang terdiri dari dua buah kolom berukuran 150mm x 150mm, balok berukuran 150 mm x 150 mm, tinggi portal 3000 mm, panjang bentang 3000 mm. Tulangan longitudinal pada balok dan kolom yaitu 4 D10. Sedangkan tulangan sengkang pada balok dan kolom yaitu Ø8, dengan jarak antar tulangan sengkang pada daerah tumpuan sebesar 75 mm, 150 mm untuk daerah lapangan. Dimana hasil uji material beton dan baja tulangan (Wijaya, 2009) adalah sebagai berikut kuat tekan beton portal = 18,08 MPa, kuat tarik baja tulangan D10 = 384,92 MPa dengan regangan dan modulus elastisitas = 0,0022 dan 174963,6364 MPa dan kuat tarik baja tulangan Ø8 = 350,97 Mpa dengan regangan dan modulus elastisitas = 0,0012 dan 292475 Mpa. Sedangkan poisson ratio untuk masing-masing material = 0,3. Pemodelan hubungan tegangan-regangan baja tulangan D10 dan baja tulangan Ø8 dapat dilihat pada **Gambar 15** dan **Gambar 16**.



Gambar 15. Pemodelan hubungan tegangan-regangan baja tulangan D10 (Wijaya, 2009)

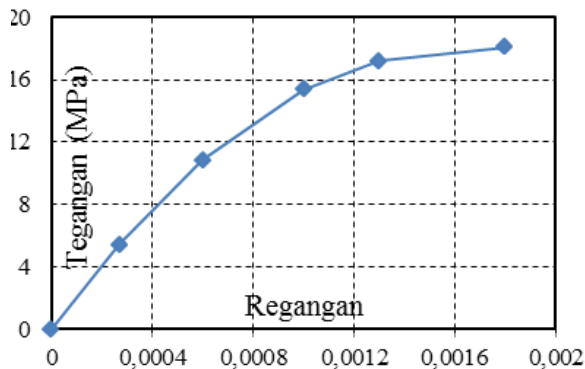


Gambar 14. Portal beton bertulang dengan dinding pengisi panel beton ALWA *styrofoam* (Wijaya, 2009)

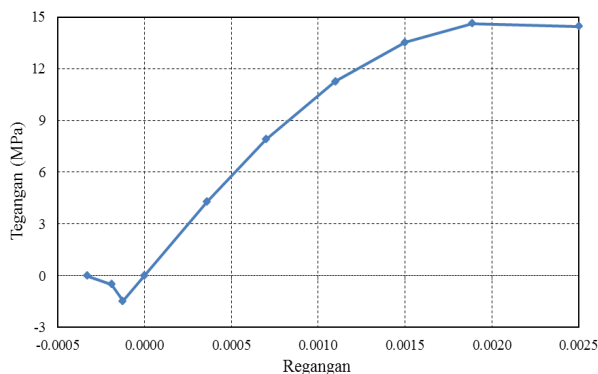


Gambar 15. Pemodelan hubungan tegangan-regangan baja tulangan Ø8 (Wijaya, 2009)

Hubungan tegangan - regangan untuk beton normal dan beton ringan ALWA *styrofoam* seperti pada **Gambar 16 dan 17**. Perletakan diasumsikan sendi ($U_x, U_y, U_z = 0$) pada kedua bidang atau titik nodal dibagian dasar portal (pada $y = 0$), diskretisasi yang digunakan per 0,075m. Pemodelan portal, elemen baja tulangan pada portal, model portal dinding pengisi yang sudah diskretisasi 0,075m dan pola retak portal dinding pengisi pada saat beban dan *displacement* maksimum dapat dilihat pada **Gambar 21**.



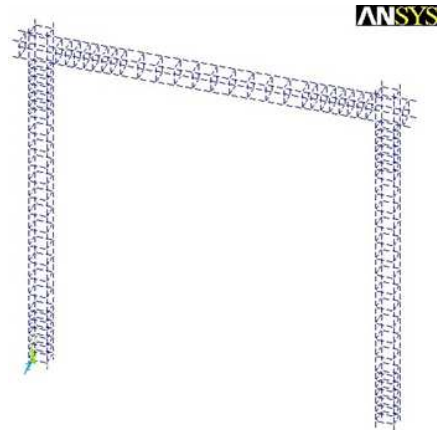
Gambar 16. Kurva hubungan tegangan-regangan beton



Gambar 17. Kurva tegangan-regangan beton styrofoam



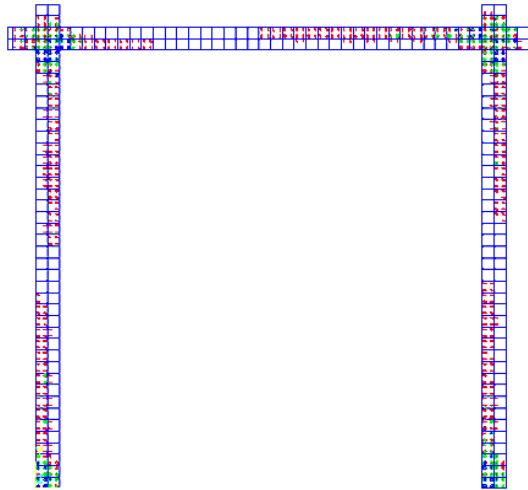
Gambar 18. Pemodelan portal



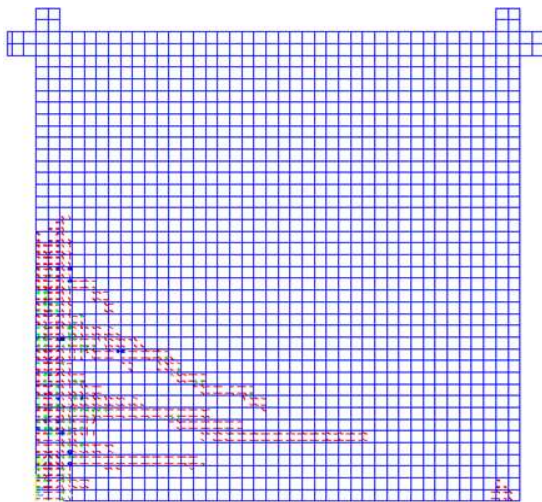
Gambar 19. Pemodelan elemen baja tulangan pada portal (ANSYS 12)

Berdasarkan **Gambar 20** dan **Gambar 21**, beban maksimum yang mampu ditahan oleh portal tanpa dinding pengisi adalah 13,855 kN atau 1,413 ton dengan *displacement* maksimum 0,15235m (152,35mm) dengan tegangan maksimum yang terjadi 16,9 MPa. Sedangkan beban maksimum yang mampu ditahan oleh portal dengan dinding pengisi adalah 75,308 kN atau 7,679 ton dengan *displacement* maksimum 0,002856 m atau 2,856 mm (drift 0,0952%), dimana retak (*crack*) pertama portal dengan dinding pengisi terjadi ketika perpindahan (*displacement*) pada portal isi mencapai 0,000249 m atau 0,249 mm dengan beban yang terjadi sebesar 28,584kN atau 2,915 ton. Retak terbentuk pada daerah bawah dinding panel yang berdekatan dengan kolom portal isi.

Berdasarkan kurva hubungan *load vs displacement* pada portal dengan atau tanpa dinding pengisi pada saat beban dan *displacement* maksimum (**Gambar 20** dan **Gambar 21**), pada portal dengan dinding pengisi terjadi peningkatan gaya, akan tetapi terjadi penurunan *displacement* jika dibandingkan dengan portal tanpa dinding pengisi, hal ini menunjukkan portal dengan dinding pengisi bersifat lebih kaku, dimana kekakuan portal beton bertulang dengan dinding pengisi panel beton ALWA *styrofoam* merupakan kontribusi kekakuan dinding dan portal pengekang.



Gambar 20. Pola retak dan kurva hubungan *load vs displacement* pada portal tanpa dinding pengisi pada saat beban dan *displacement* maksimum



Gambar 21. Pola retak dan hubungan *load vs displacement* pada portal dengan dinding pengisi pada saat beban dan *displacement* maksimum

Selama proses pembebanan, kerusakan-kerusakan yang dialami oleh dinding maupun portal pengekan menyebabkan terjadinya degradasi kekakuan pada portal isi tiap pembebanan. Proses degradasi kekakuan akibat pembebanan pada portal dan dinding pengisi tidak serentak, hal ini ditunjukkan dari bentuk grafik pada **Gambar 21** yang cenderung bergerigi.

Berdasarkan pola retak yang terjadi maka pola keruntuhan pada dinding pengisi diawali pada keruntuhan pada daerah sudut (*corner crushing*) dan sedangkan pada portal terjadi dengan diawali pada terjadinya keretakan pada bagian dasar kolom. Hal ini menunjukkan terjadinya mekanisme retak geser pada bagian bawah kolom, dan semakin menjalar, sehingga terjadi mekanisme retak lentur pada bagian setengah tinggi kolom. Pada pembebanan monotonik retak tersebut tidak menutup kembali, maka pada bagian tersebut terjadi degradasi kekakuan. Disamping itu keruntuhan ini disebabkan dinding maupun portal (balok dan kolom) sangat kuat namun memiliki joint yang lemah sehingga efek pengekan yang terjadi

pada dinding isi tidak sempurna dari portal.

Puncak kegagalan portal dengan dinding pengisi secara analisis numerik dengan perangkat lunak ANSYS terjadi setelah kegagalan pada lebih dari setengah tinggi kolom bagian kiri melalui mekanisme keruntuhan lentur dan sudut dinding bagian kiri. Dari gambar kurva *load vs displacement* pada **Gambar 20** dan **Gambar 21** dapat dilihat bahwa penggunaan dinding pengisi panel beton ALWA *styrofoam* dengan ketebalan 70mm dapat menambah kekakuan portal, akan tetapi perlu dilakukan pengujian secara eksperimental dengan benda uji portal dinding isi panel beton ALWA *styrofoam* yang sesungguhnya guna mengetahui kapasitas lateral dari portal dinding isi tersebut.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan dan analisa pada bab IV, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Berat isi beton ALWA *styrofoam* 25%-30% lebih rendah dari beton normal dengan kuat tekan beton ALWA *Styrofoam* meningkat seiring dengan berkurangnya faktor air semen, akan tetapi peningkatan kekuatannya tidak signifikan seperti pada kuat tekan beton normal.
2. Nilai rata-rata kuat tarik belah, kuat tarik lentur, modulus elastisitas, porositas beton ALWA *styrofoam* pada umur 28 hari dengan menggunakan komposisi campuran beton ALWA *styrofoam* w/c 0,5 kode S0,5 berturut-turut adalah 1,474 MPa, 4,399 MPa, 12.143,67 MPa, 18,92%. Sedang untuk pengujian ketahanan beton terhadap penetrasi ion klorida termasuk kategori tinggi.
3. Biaya yang dikeluarkan untuk produksi per meter persegi jika beton ALWA *styrofoam* digunakan untuk dinding nonstruktural/partisi dengan tebal dinding 7 cm sebesar Rp. 304,653.39.
4. Berdasarkan hasil analisis struktur pola keruntuhan portal dengan dinding pengisi merupakan diawali dengan kehancuran daerah sudut dari dinding panel beton ALWA *styrofoam* kemudian dilanjutkan dengan kehancuran pada kolom portal bagian bawah.

Daftar Pustaka

- ACI committe 211.1-91, 1995. Standard Practise for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete, *ACI Manual of Concrete Practise Part 1*.
- Amir, P., 2003. *Degradasi Kekuatan Beton Akibat Pengaruh Kebakaran*, Concrete Repair and Maintenance, Yayasan John Hi-Tech Idetama.
- Annual Book of ASTM Standars, 1993, *Concrete and Aggregat, Section 4 Construction Volume 04.02*.
- ANSYS 12, *Finite Element Analysis System*, SAS IP, Inc.
- Cecilia, LGS., dan Buen, S., 2013, *Efek Styrofoam Bekas Kotak Makanan Sebagai Agregat Beton*, The 2nd Indonesian Structural Engineering and Materials Symposium Bandung.
- Kachlakev, D., Miller, T., Yim, S., Chansawat, K., Potisuk, T., 2001, *Finite Element Modeling of Reinforced Concrete Structures Strengthened With FRP Laminates*, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, CA and Oregon Department of Transportation, May.
- Kurniawan, R., Pebrianti., 2008, Studi Daktilitas Dan Kuat Lentur Balok Beton Ringan Dan Beton Mutu Tinggi Bertulang, *Jurnal Teknik A*, No. 29 Vol.2 Thn. XV April 2008 ISSN: 0854-8471.
- SNI 6897, 2008, *Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Dinding Untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan*, Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 7394, 2008, *Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Dinding Untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan*, Badan Standardisasi Nasional
- Thomas, Tamut., Rajendra, Prabhu., Katta, Venkataramana., Subhash, C.Yaragal., 2014, Partial Replacement of Coarse Aggregates by Expanded Polystyrene Beads In Concrete, *International Journal of Research in, Engineering and Technology* ISSN: 2319-1163, Vol. 03.
- Wijaya, I.I.D.G.W., 2009, *Kajian Eksperimental Kinerja Dinding Bata Terkekang Portal Beton Bertulang*, Tesis Megister, Institut Teknologi Bandung, Indonesia.
- Willam, K. J., dan Warnke., 1974, *Constitutive Model for Triaxial Behavior of Concrete*, Seminar on Concrete Structures Subjected to Triaxial Stresses, International Association of Bridge and Structural Engineering Conference, Bergamo, Italy, p.174.

